

Damage control orthopédique : une réponse adaptée ?

Dr Jonathan Charbit, Dr Séverin Ramin, Pr Xavier Capdevila

Centre régional d'accueil des traumatisés sévères, Département d'anesthésie-réanimation,
CHRU Lapeyronie, 371 Avenue du Doyen G. Giraud, 34090 Montpellier.

Auteur correspondant : Dr Jonathan Charbit

Email : j-charbit@chu-montpellier.fr

Aucun conflit d'intérêt.

Points Essentiels

- Les patients traumatisés sévères développent une importante réaction inflammatoire et immunologique en réponse au traumatisme initial, c'est le *first hit*. L'intensité de ces désordres dépend de multiples facteurs comprenant la sévérité du traumatisme, le type de lésions initiales, ainsi que le patrimoine génétique propre à chaque individu.
- Dans le cas de fractures diaphysaires d'os long, la stabilisation du foyer de fracture doit être réalisée le plus précocement possible car elle réduit le risque de complications locales et respiratoires. Pour autant, la réalisation d'une ostéosynthèse définitive précoce, notamment l'enclouage centro-médullaire, va être responsable d'une agression supplémentaire pour le patient, nommée *second hit*, pouvant créer ou aggraver une défaillance respiratoire ou multi-viscérale.
- Le damage control orthopédique (DCO) est une technique chirurgicale simple qui a pour principe la stabilisation temporaire des foyers de fracture par l'utilisation de fixateurs externes le plus souvent. Le DCO permet de réduire les pertes sanguines peropératoire, les temps opératoires, et surtout l'intensité de l'agression chirurgicale pourvoyeuse de complications secondaires.
- Les bénéfices cliniques plus larges du DCO par rapport à l'ostéosynthèse définitive précoce restent cependant sujets à controverse. La plupart des études comparant ces deux stratégies manquent en effet de puissance ou présentent d'importants biais de sélection ou d'interprétation. La plupart des experts recommandent néanmoins le DCO pour les patients choqués ou sévèrement lésés ; crâne, thorax ou abdomen plus spécifiquement. Pour les patients limites ou *borderlines*, c'est-à-dire stables mais à risque de se dégrader du fait de la chirurgie, son utilisation reste très discutée. Pour les patients les moins sévères, le DCO n'est pas conseillé, sauf en cas d'important délabrement local tissulaire ou osseux.
- La stratégie de DCO initiale s'associe dans la plupart des cas à une réintervention secondaire pour réaliser une ostéosynthèse définitive. L'ostéosynthèse définitive doit

idéalement avoir lieu entre le 4^e et le 15^e à 21^e jour pour limiter au maximum le risque de complications locales ou générales. Ainsi, le choix de la stratégie initiale, comme du timing optimal de la reprise secondaire doivent faire l'objet d'une discussion multidisciplinaire entre chirurgien, anesthésiste et réanimateur.

INTRODUCTION

Le polytraumatisme demeure une des principales causes de décès dans le monde. Les patients jeunes sont particulièrement touchés. Il est maintenant bien établi qu'un traumatisme sévère va déclencher une cascade physiopathologique complexe pouvant aboutir à des dysfonctions d'organes et un syndrome de défaillance multi-viscérale (SDMV) [1]. La lésion tissulaire serait en effet responsable d'une libération massive et non-régulée de nombreux marqueurs pro-inflammatoires responsables de phénomènes systémiques précoces et retardés [2]. Les patients traumatisés sévères représentent par conséquent un défi thérapeutique majeur, au-delà de la question spécifique du choc hémorragique ou traumatisme crânien sévère. Au cours des dernières décennies, une augmentation significative de la survie des patients a été obtenue grâce au développement de centres spécialisés offrant des prises en charge spécifiques, adaptées et parfois agressives. La compréhension des mécanismes physiopathologiques directement impliqués dans la cascade inflammatoire, les phénomènes hémorragiques et la survenue de dysfonctions d'organes reste la pierre angulaire de la réflexion thérapeutique [3,4].

Les fractures osseuses sont très fréquentes chez les patients traumatisés sévères ou polytraumatisés. La prise en charge de ces fractures a beaucoup évolué au cours des 40 dernières années. Si le standard de soins a longtemps été pour la plupart des fractures diaphysaires l'ostéosynthèse définitive précoce, le *damage control orthopaedic surgery* (DCO) s'est fortement développé comme alternative à la fin des années 90. [5]. Les chirurgies précoces agressives ont en effet été accusées de majorer les phénomènes proinflammatoires engendrant les complications systémiques [6]. Le DCO a, dans cette logique, pour mission de stabiliser précocement le foyer fracturaire tout en limitant l'agression chirurgicale et en renonçant à une ostéosynthèse précoce idéale et définitive [7,8]. Il s'agit par conséquent d'une stratégie de chirurgies séquencées ; durant la phase initiale, les priorités sont le contrôle de l'hémorragie, la stabilisation temporaire des principaux foyers de fracture des os longs via des fixateurs externes et la gestion des lésions des tissus mous. Cette étape doit être rapide, faiblement hémorragique et efficace sur le plan mécanique. Des revascularisations temporaires par shunt prothétique et des fasciotomies de loges peuvent être proposées en cas de complications pour assurer une perfusion acceptable du membre. Dans un second temps, une fois le patient stabilisé, une reprise chirurgicale peut être envisagée pour réaliser une ostéosynthèse définitive [9]. Le DCO est une technique ciblant principalement les os longs (fémur, tibia, humérus, ulna) s'adressant principalement aux lésions diaphysaires mais également aux fractures de l'anneau pelvien, les extrémités, la mandibule ou parfois la face. Le DCO est dans la plupart des cas proposé aux patients traumatisés sévères considérés comme instables ou présentant des lésions cérébrales, abdominales ou thoraciques associées. Il peut également s'étendre aux traumatismes des membres isolés mais graves, tels que les fractures ouvertes avec lésions tissulaires importantes. Cette indication spécifique purement orthopédique est un critère largement admis dans la littérature au regard du risque infectieux non-négligeable dans ces situations. Au final, même si de nombreux experts recommandent fortement la stratégie de chirurgies séquencées associées au DCO pour les patients les plus sévèrement lésés, les preuves scientifiques sont insuffisantes pour affirmer définitivement la supériorité du DCO sur l'ostéosynthèse définitive précoce. De plus, le débat reste vif pour les patients de gravité intermédiaire qui présentent un risque de développer une défaillance organique post-opératoire [10,11].

Historique & principe du DCO

La stabilisation définitive précoce des foyers de fracture, regroupée sous le nom d' "*early total care*" en anglais, constitue à partir des années 70-80 le traitement de référence des patients traumatisés sévères atteints de fractures de membres. Cette stratégie possède comme principal objectif la volonté de réduire et de stabiliser le plus tôt possible les foyers fracturaires instables afin de limiter les complications précoces et retardées. Les fractures diaphysaires du fémur ont été particulièrement étudiées dans ce cadre chez les patients traumatisés sévères [12,13]. Ces séries rapportent ainsi de moindres complications locales et systémiques pour les populations traitées par *early total care* en comparaison d'une prise en charge plus tardive. Parmi les complications précoces redoutées, l'une des principales est le syndrome d'embolie graisseuse. Ces embolies surviennent principalement en cas de fracture d'un os long, lorsque le foyer de fracture est mobilisé et/ou que la stabilisation est retardée [14,15]. De même, il a été prouvé que l'incidence des syndromes de détresse respiratoire aiguë (SDRA) était clairement augmentée lorsque les fractures diaphysaires de fémur sont fixées tardivement [5]. La stabilisation définitive retardée des fractures diaphysaires entraînent, en outre, un plus mauvais pronostic fonctionnel chez ces patients par une ossification pathologique, le développement d'une pseudarthrose, ou tout simplement l'impossibilité de mobiliser les articulations générant une raideur articulaire importante. Pour autant, l'ostéosynthèse définitive précoce d'une fracture diaphysaire n'est pas sans conséquence dans le cas d'un traumatisme sévère. Ce type de chirurgie est en effet pourvoyeur d'importantes pertes sanguines, d'une majoration de l'acidose ou de l'hypothermie [16]. L'alésage d'une diaphyse osseuse et l'hyperpression induite par un enclouage centro-médullaire sont également associés à un risque important d'embolie graisseuse [17]. Ces différentes contraintes expliquent les nombreux questionnements existant autour de l'utilisation de l'*early total care* chez les patients les plus sévèrement lésés, et en particulier ceux en choc hémorragique.

Dans ce contexte, une alternative à l'*early total care* est née au milieu des années 90, le DCO. Initialement développé pour la chirurgie digestive, cette stratégie chirurgicale moins invasive visant une stabilisation osseuse temporaire s'est rapidement étendue pour la prise en charge des fractures des os longs, dans le but d'offrir une réduction du foyer de fracture avec une intervention simple, rapide et faiblement hémorragique [8,18]. Cette stabilisation osseuse temporaire est permise dans la plupart des cas par la pose d'un ou plusieurs fixateurs externes. L'ostéosynthèse définitive du foyer de fracture est alors proposée dans un second temps, quelques heures à quelques jours plus tard, lorsque le patient est considéré comme stabilisé. Les indications de choix sont les fractures diaphysaire notamment fémur tibia ou humérus, cependant il est envisageable de fixer tous les os ; mandibule, zygoma, côtes, main ou pied par exemple. Les fixateurs peuvent également ponter une articulation dans le cas de lésions épiphysaires ou articulaires afin de stabiliser toute une partie de membre. La majorité des séries décrit une évolution locale favorable pour les fractures traitées par DCO [5,19]. L'objectif de cette stratégie de chirurgies séquencées est également de diminuer la durée de la chirurgie pour ne pas retarder la réanimation intensive permettant de traiter agressivement la triade létale historique, coagulopathie, hypothermie et acidose. La plupart des séries rapportent que le DCO est une technique sûre et efficace dans ces circonstances. Enfin, la réduction des temps opératoires serait responsable d'une diminution du syndrome de réponse inflammatoire systémique et du syndrome de réponse anti-inflammatoire compensatoire [6].

Traumatisme sévère & Inflammation

Il a été bien montré qu'un traumatisme violent provoquait une activation rapide, intense et prolongée du système immunitaire en réponse à l'agression initiale ; ce phénomène a été nommé en anglais "*first hit*" [20]. Cette réponse inflammatoire systémique déclenchée par des lésions tissulaires locales est associée à une réaction immunologique, elle-même causée par

une nécrose locale et une pénétration bactérienne. L'ampleur de cette réaction inflammatoire dépend du degré du traumatisme mais aussi du profil génétique du patient. Une étude publiée en 2011 a en effet mis en lumière qu'un véritable orage inflammatoire par la transcription des gènes codant pour les cytokines pro et anti-inflammatoires pouvait être déclenchée à la suite d'un traumatisme violent. Dans ce travail, 80% des nombreuses fonctions cellulaires et voies de signalisation testées étaient modifiées, sur ou sous-exprimées [21]. La voie de l'immunité innée semble être préférentiellement concernée par ce phénomène, via l'activation de ses récepteurs spécifiques, "*pathogen recognition receptor*" en anglais ou PRR [22]. Le pronostic des patients dépendrait probablement de l'amplitude de cette réaction inflammatoire et immunitaire [23,24]. De plus, la grande variabilité inter-individuelle rend l'intensité de cette réaction imprévisible. Les composants intra-cellulaires du tissu traumatisé nommés "alarmines" ou en anglais "*danger associated molecular patterns*" (DAMPs), sont les principaux instigateurs d'une réponse inflammatoire systémique [25,26]. Ces molécules endogènes intra-cellulaires sont, à l'état physiologique, isolées des composants du système immunitaire par la membrane cellulaire et la compartimentation intra-cellulaire (noyau, cytosol, réticulum endoplasmique et mitochondries) [27]. L'hypothèse physiopathologique serait une libération massive et non-régulée de ces alarmines, notamment le N-formyl peptide et l'ADN mitochondrial, provoquée par la lésion tissulaire ou la mort cellulaire causée par le traumatisme. Cette absence de régulation, échappant aux phénomènes apoptotiques, explique probablement la violence de cette activation immunitaire. Des travaux supportent que les fragments de génome mitochondrial libérés dans la circulation fonctionneraient comme des signaux intercellulaires propageant l'agression tissulaire vers des organes à distance des zones lésées [28]. Cette libération de médiateurs inflammatoires serait ainsi responsable d'un SDMV, cause majeure de morbi-mortalité chez les patients traumatisés sévères [29]. Enfin, ces alarmines systématiquement observées à la suite d'une fracture osseuse [25], peuvent également être fortement libérées durant une chirurgie invasive de stabilisation osseuse [6,30].

Le concept de brûlure opératoire "*operative burden*" en anglais, également appelé agression secondaire ou "*second hit*", est connu depuis de longues années [31]. Si le développement de SDRA et/ou de SDMV induit par le "*first hit*" dépendrait majoritairement de la violence du traumatisme et des propriétés génomiques de l'individu, l'intensité de la réponse immunitaire au *second hit* serait en revanche d'autant plus importante que le patient a subi des agressions physiologiques secondaires intenses et/ou répétées. Parmi les agressions secondaires, la principale décrite est la chirurgie lourde et prolongée. Ainsi, l'incidence des défaillances organiques postopératoires s'élevait dans certaines séries à plus de 80% après des ostéosyntheses précoces pelviennes ou fémorales [32]. Cette morbidité serait d'autant plus importante en présence de lésions thoraciques. Ainsi, Pape et al. [10] ont clairement démontré qu'un enclouage fémoral centro-médullaire en présence d'une atteinte thoracique traumatique était associé à une incidence de SDRA plus élevée, des durées de ventilation mécanique invasive et d'hospitalisation allongées. Toutes les séries n'ont cependant pas retrouvé d'augmentation du risque de SDRA à la suite d'une chirurgie d'ostéosynthèse définitive précoce chez les patients traumatisés [33,34]. Quoi qu'il en soit, de nombreuses preuves scientifiques renforcent l'idée que les chirurgies précoces invasives et prolongées, telles que l'enclouage centro-médullaire avec alésage, accentuent la réaction immunitaire provoquée par un traumatisme initial [32,35]. De plus, des modèles animaux confirment que ce type de chirurgie orthopédique invasive engendre une stimulation pro-inflammatoire et immunitaire importante qui est responsable de SDMV pouvant conduire au décès [36-38]. Ces modifications immunologiques seraient d'autant plus marquées que le patient est porteur d'une lésion initiale au thorax ou au crâne. Ainsi, il existe un rationnel fort supportant que le

choix de la stratégie chirurgicale des fractures de fémur ou d'un os long chez les patients traumatisés sévères doit tenir compte du statut physiologique du patient, ainsi que de la présence de lésions extra-osseuses cérébrales et thoraco-abdominales.

Comparaison des stratégies DCO & *early total care*

La plupart des études ayant comparé les stratégies d'*early total care* et de DCO ont été réalisées sur des patients atteints de fractures diaphysaires du membre inférieur, et principalement de fémur. Dans ce cas, l'ostéosynthèse définitive consiste majoritairement en un enclouage centro-médullaire de fémur. Ainsi, l'une des plus-values évidentes observée avec l'utilisation du DCO est la réduction du temps opératoire et des pertes sanguines péri-opératoires. Ceci a été démontré par Scalea et al. [39] dans une étude rétrospective ; la durée médiane de stabilisation initiale des diaphyses fémorales était dans cette série de 35 minutes pour le groupe DCO, et les pertes sanguines estimées médianes de 90 ml. Les valeurs correspondantes dans le groupe ostéosynthèse définitive précoce étaient respectivement de 135 minutes et 400 ml. Au-delà d'être statistiquement significatives, ces différences possédaient une réelle pertinence clinique qui semble légitimer la stratégie de DCO pour les patients les plus sévères. Des résultats comparables ont également été rapportés dans plusieurs autres travaux confirmant la supériorité d'une stratégie séquencée avec DCO sur la réduction du temps opératoire ainsi que des pertes sanguines précoces [40]. Les effets positifs du DCO ne semblent cependant pas se limiter à la période peropératoire. Pape et al. [11] avaient en effet observé en 2007 dans un essai prospectif randomisé (étude *EPOFF*) une incidence de complications respiratoires réduite pour les patients traumatisés sévères présentant des fractures fémorales stabilisées précocement par fixateur externe. Cette étude possède malheureusement un biais de sélection important puisque les auteurs avaient jugé, pour des considérations "éthiques", qu'il n'était pas acceptable de proposer un enclouage centro-médullaire précoce aux patients les plus sévères, notamment en présence de lésions thoraciques associées. On peut donc supposer que l'influence du type de stratégie de fixation fémorale précoce sur les complications post-opératoires a été minorée dans cette série. Par ailleurs, un autre travail a conclu sur une large population de polytraumatisés à une réduction du taux de mortalité lorsque la stabilisation définitive des fractures de fémur était différée d'au moins 12 à 24 heures en utilisant le DCO. Les résultats centrés sur les complications systémiques et respiratoires sont cependant divergents dans la littérature puisque d'autres études ont retrouvé des résultats négatifs, voire parfois inverses [47,48]. Ici aussi, de nombreux biais peuvent être opposés à ces derniers travaux, principalement rétrospectifs, manquant pour certains de puissance statistique, et présentant majoritairement le même biais de sélection que l'étude *EPOFF*. Il est certain que le lien entre enclouage centro-médullaire précoce de fémur et complications respiratoires ou systémiques est désormais fermement enraciné dans le monde de la traumatologie. Ceci rend aujourd'hui difficile la réalisation d'un travail prospectif incontestable pour affirmer la supériorité de la stratégie de DCO dans ce contexte. Dans cette réflexion, plusieurs éléments restent encore à clarifier : le timing optimal d'une ostéosynthèse définitive, le degré de la réanimation intensive pré-opératoire nécessaire pour les patients instables [41], ainsi que le type de dispositif de fixation à utiliser pour le DCO. Les dispositifs de traction osseux seraient en effet à risque de majorer les complications respiratoires [42]. Enfin, il n'a pas été établi si les patients traumatisés sévères atteints de fractures diaphysaires du membre supérieur auraient eux aussi un bénéfice à une stratégie de DCO.

Le DCO : pour quels patients ?

Lorsque le DCO est apparu à la fin des années 90, les critères justifiant ce type de stratégie chirurgicale séquencée étaient un traumatisme crânien sévère, un état de choc

hémorragique ou des lésions thoraco-abdominales sévères contre-indiquant une chirurgie orthopédique agressive précoce [39]. Par la suite, Pape et al. [43], ont proposé une identification plus précise des patients dès leur admission sur la base de critères physiologiques, lésionnels ainsi que sur la sévérité du traumatisme. Cette classification est présentée dans le Tableau 1. Les patients ont été répartis en 4 classes : stable, limite (ou "*borderline*"), instable et critique [44]. D'un point de vue physiopathologique, on retrouve des critères prédictifs d'une coagulopathie post-traumatique ou de choc (hémorragique ou circulatoire) fortement associés à des saignements majorés ou une acidose profonde. De même, la gravité globale du traumatisme qualifiée par le score ISS a largement été associée à la survenue de défaillances d'organes et de SDRA [45]. On y retrouve également des critères respiratoires tels que rapport PaO₂/FiO₂, le TTS score ou l'AIS score thoracique tous prédictifs de complications respiratoires [46]. A ce stade, il apparaît essentiel de souligner que la quasi-totalité des critères utilisés dans cette classification pour choisir le type de stratégie chirurgicale orthopédique consiste en des critères globaux, hémodynamiques, hémorragiques, lésionnels ou respiratoires. On peut ainsi émettre l'hypothèse que ce point spécifique est l'une des principales explications pour justifier la moindre utilisation du DCO en France en comparaison avec les pays anglo-saxons ou germaniques ; les chirurgiens orthopédiques spécialisés étant probablement moins sensibles à ces critères que les *trauma surgeons*.

De nos jours, de nombreux experts réservent la stratégie de DCO aux traumatisés instables ou critiques, lesquels présentent des risques hémorragiques ou respiratoires importants. La seconde grande indication est une association lésionnelle contre-indiquant une chirurgie orthopédique lourde trop précoce [47]. A l'inverse, pour les patients les moins sévères ou stables, une prise en charge par DCO serait inutile et coûteuse. Chez ces derniers, une prise en charge en un temps avec une ostéosynthèse précoce apparaît sans danger et donc préférable [48]. Enfin, la catégorie qui reste actuellement la plus controversée reste celle des patients limites ou "*borderline*" (Tableau 2). Ces patients sont définis comme apparemment stables avant la chirurgie mais pouvant se dégrader en post-opératoire [44]. Pour ces patients *borderlines*, certains préconisent une stratégie de stabilisation séquencée. Cette position est en effet supportée par différents travaux montrant une réduction des complications respiratoires et de la morbi-mortalité dans cette population spécifique grâce à l'utilisation d'une stratégie de DCO [49]. D'autres auteurs recommandent plutôt la réalisation d'une chirurgie définitive retardée de quelques heures (8 à 12 heures) pour permettre une stabilisation systémique par réanimation intensive [45]. Le DCO a en effet été accusé dans certaines séries d'allonger la durée de séjour et de ventilation mécanique. Le DCO pourrait également être pourvoyeur de complications septiques chez les patients *borderlines* [50]. Ces derniers travaux comportent malheureusement de nombreux biais méthodologiques rendant difficile une interprétation fiable. Une étude rétrospective a néanmoins rapporté que l'enclouage centro-médullaire précoce serait associé à de faibles taux de SDRA et de décès lorsqu'une réanimation adéquate était précocement pratiquée chez les patients *borderlines*. Ainsi, à la lumière des preuves disponibles dans la littérature, on comprend qu'une vision péri-opératoire globale et réanimatoire est indispensable pour déterminer la stratégie chirurgicale initiale appropriée (DCO ou ostéosynthèse définitive précoce), ceci afin de limiter la morbi-mortalité associée à ces prises en charge pour les patients à risque.

DCO & ostéosynthèse définitive retardée

Lors d'une stratégie de DCO, une reprise de la stabilisation initiale doit secondairement être réalisée dans la plupart des cas. Le retrait du fixateur externe permet alors de pratiquer une ostéosynthèse définitive. Cette ostéosynthèse définitive retardée doit cependant être

envisagée lors d'une "fenêtre d'opportunité". La fenêtre idéale est traditionnellement fixée entre le 4^{ème} et le 10^{ème} jour, avec néanmoins d'importantes variations selon les patients, le profil lésionnel ou l'évolution clinique précoce. Ainsi, il a été rapporté que la réalisation d'une ostéosynthèse définitive prématurée, entre J2 et J4 après le traumatisme initial, pouvait s'avérer délétère pour les patients [51,52]. Cette phase est en effet accompagnée par une forte élévation plasmatique de nombreux marqueurs pro-inflammatoires [19]. L'ajout durant cette période d'une agression chirurgicale est alors à même de favoriser l'apparition ou le développement de défaillances d'organes [48,52]. Le délai entre le DCO initial et l'ostéosynthèse définitive doit s'intégrer dans une réflexion globale suivant l'évolution clinique du patient.

Si la réalisation d'une ostéosynthèse définitive trop précoce suivant un DCO peut s'avérer délétère chez certains patients, une ré-intervention trop tardive est elle aussi à déconseiller. Celle-ci ne devrait pas survenir au-delà de 15 jours après le traumatisme, trois semaines pour certains. Il a été en effet constaté un risque accru d'infections sur site opératoire passé ce délai [54]. Ceci pourrait être expliqué par l'état d'immunosuppression marqué observé durant cette période tardive suivant le traumatisme [52]. Il paraît ainsi légitime de limiter les chirurgies non indispensables pendant cette phase. Par ailleurs, lorsque l'ostéosynthèse définitive n'a pu être mise en place dans un délai raisonnable, le fixateur externe peut devenir le traitement de stabilisation définitive du foyer de fracture avec une efficacité acceptable [55]. En effet, les patients présentant d'importantes lésions cérébrales ou un SDRA prolongé ne peuvent parfois pas subir de nouvelle intervention chirurgicale. Dans la littérature, 6 à 12 % des fixateurs externes constituent le traitement définitif [54]. Le fixateur externe peut également devenir définitif en présence de lésions des tissus mous trop délabrantes afin de réduire le risque septique [53,55].

En résumé, la stratégie de DCO ne doit pas être résumée à la prise en charge initiale. Pour que l'utilisation du DCO apporte une réelle plus-value, la reprise secondaire pour ostéosynthèse définitive doit être un objectif majeur dans les jours suivant l'admission. Ceci impose une concertation multidisciplinaire pluriquotidienne impliquant les chirurgiens, les anesthésistes et les réanimateurs afin de trouver la meilleure fenêtre de ré-intervention. La gestion de la séquence de ré-intervention et son *timing* est en effet l'un des points majeurs pour obtenir une prise en charge cohérente et optimale, ainsi qu'une limitation des complications associées à ces lésions orthopédiques.

CONCLUSION

Les patients polytraumatisés sévères présentent une profonde modification de leur immunité innée provoquée par la libération de médiateurs inflammatoires provenant des tissus lésés. Cette cascade physiopathologique va engendrer un syndrome de défaillance multi-viscérale qui peut être majoré par une agression chirurgicale durant la phase précoce, le *second hit*. Le DCO est une stratégie proposée sur les fractures d'os longs principalement, mais également pour l'anneau pelvien ou d'autres sites. L'objectif du DCO est de stabiliser précocement les foyers de fracture tout en limitant les désordres immunologiques et les complications liées à cette agression secondaire. Il existe une insuffisance d'essais et de preuves scientifiques à ce jour pour affirmer la supériorité du DCO sur une ostéosynthèse définitive précoce. Cependant les hypothèses scientifique et physiopathologique sont largement en faveur du DCO pour les patients les plus sévèrement lésés et ceux à risque de choc hémorragique. Quelle que soit la stratégie chirurgicale mise en œuvre, elle doit s'intégrer dans une réflexion multidisciplinaire afin de répondre au mieux à la complexité des patients traumatisés sévères.

Références :

- [1] Butcher N, Balogh ZJ. The definition of polytrauma: the need for international consensus. *Injury* 2009;40 Suppl 4:S12-22. doi:10.1016/j.injury.2009.10.032.
- [2] Hirsiger S, Simmen H-P, Werner CML, Wanner GA, Rittirsch D. Danger signals activating the immune response after trauma. *Mediators Inflamm* 2012;2012:315941. doi:10.1155/2012/315941.
- [3] Midwinter MJ, Woolley T. Resuscitation and coagulation in the severely injured trauma patient. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 2011;366:192–203. doi:10.1098/rstb.2010.0220.
- [4] Sharrock AE, Midwinter M. Damage control - trauma care in the first hour and beyond: a clinical review of relevant developments in the field of trauma care. *Ann R Coll Surg Engl* 2013;95:177–83. doi:10.1308/003588413X13511609958253.
- [5] Bone LB, Johnson KD, Weigelt J, Scheinberg R. Early versus delayed stabilization of femoral fractures. A prospective randomized study. *J Bone Joint Surg Am* 1989;71:336–40.
- [6] Harwood PJ, Giannoudis PV, van Griensven M, Krettek C, Pape H-C. Alterations in the systemic inflammatory response after early total care and damage control procedures for femoral shaft fracture in severely injured patients. *J Trauma* 2005;58:446–52; discussion 452-454.
- [7] Mathieu L, Bazile F, Barthélémy R, Duhamel P, Rigal S. Damage control orthopaedics in the context of battlefield injuries: the use of temporary external fixation on combat trauma soldiers. *Orthop Traumatol Surg Res OTSR* 2011;97:852–9. doi:10.1016/j.otsr.2011.05.014.
- [8] Roberts CS, Pape H-C, Jones AL, Malkani AL, Rodriguez JL, Giannoudis PV. Damage control orthopaedics: evolving concepts in the treatment of patients who have sustained orthopaedic trauma. *Instr Course Lect* 2005;54:447–62.
- [9] Shapiro MB, Jenkins DH, Schwab CW, Rotondo MF. Damage control: collective review. *J Trauma* 2000;49:969–78.
- [10] Pape HC, Auf'm Kolk M, Paffrath T, Regel G, Sturm JA, Tscherne H. Primary intramedullary femur fixation in multiple trauma patients with associated lung contusion--a cause of posttraumatic ARDS? *J Trauma* 1993;34:540–7; discussion 547-548.
- [11] Pape H-C, Rixen D, Morley J, Husebye EE, Mueller M, Dumont C, et al. Impact of the method of initial stabilization for femoral shaft fractures in patients with multiple injuries at risk for complications (borderline patients). *Ann Surg* 2007;246:491–9; discussion 499-501. doi:10.1097/SLA.0b013e3181485750.
- [12] Johnson KD, Cadambi A, Seibert GB. Incidence of adult respiratory distress syndrome in patients with multiple musculoskeletal injuries: effect of early operative stabilization of fractures. *J Trauma* 1985;25:375–84.
- [13] Goris RJ, Gimbrère JS, van Niekerk JL, Schoots FJ, Booy LH. Early osteosynthesis and prophylactic mechanical ventilation in the multitrauma patient. *J Trauma* 1982;22:895–903.
- [14] Koul PA, Ahmad F, Gurcoo SA, Khan UH, Naqash IA, Sidiq S, et al. Fat embolism syndrome in long bone trauma following vehicular accidents: Experience from a tertiary care hospital in north India. *Lung India Off Organ Indian Chest Soc* 2013;30:97–102. doi:10.4103/0970-2113.110413.
- [15] Talbot M, Schemitsch EH. Fat embolism syndrome: history, definition, epidemiology. *Injury* 2006;37 Suppl 4:S3-7. doi:10.1016/j.injury.2006.08.035.

- [16] Pape HC, van Griensven M, Rice J, Gänsslen A, Hildebrand F, Zech S, et al. Major secondary surgery in blunt trauma patients and perioperative cytokine liberation: determination of the clinical relevance of biochemical markers. *J Trauma* 2001;50:989-1000.
- [17] Kröpfl A, Davies J, Berger U, Hertz H, Schlag G. Intramedullary pressure and bone marrow fat extravasation in reamed and unreamed femoral nailing. *J Orthop Res Off Publ Orthop Res Soc* 1999;17:261-8. doi:10.1002/jor.1100170216.
- [18] Roberts DJ, Ball CG, Feliciano DV, Moore EE, Ivatury RR, Lucas CE, et al. History of the Innovation of Damage Control for Management of Trauma Patients: 1902-2016. *Ann Surg* 2017;265:1034-44. doi:10.1097/SLA.0000000000001803.
- [19] Waydhas C, Nast-Kolb D, Trupka A, Zettl R, Kick M, Wiesholler J, et al. Posttraumatic inflammatory response, secondary operations, and late multiple organ failure. *J Trauma* 1996;40:624-30; discussion 630-631.
- [20] Moore FA, Moore EE. Evolving concepts in the pathogenesis of postinjury multiple organ failure. *Surg Clin North Am* 1995;75:257-77.
- [21] Xiao W, Mindrinis MN, Seok J, Cuschieri J, Cuenca AG, Gao H, et al. A genomic storm in critically injured humans. *J Exp Med* 2011;208:2581-90. doi:10.1084/jem.20111354.
- [22] Reino DC, Pisarenko V, Palange D, Doucet D, Bonitz RP, Lu Q, et al. Trauma hemorrhagic shock-induced lung injury involves a gut-lymph-induced TLR4 pathway in mice. *PLoS One* 2011;6:e14829. doi:10.1371/journal.pone.0014829.
- [23] Pittet J-F, Lee H, Morabito D, Howard MB, Welch WJ, Mackersie RC. Serum levels of Hsp 72 measured early after trauma correlate with survival. *J Trauma* 2002;52:611-7; discussion 617.
- [24] Simmons JD, Lee Y-L, Mulekar S, Kuck JL, Brevard SB, Gonzalez RP, et al. Elevated levels of plasma mitochondrial DNA DAMPs are linked to clinical outcome in severely injured human subjects. *Ann Surg* 2013;258:591-6; discussion 596-598. doi:10.1097/SLA.0b013e3182a4ea46.
- [25] Zhang Q, Raouf M, Chen Y, Sumi Y, Sursal T, Junger W, et al. Circulating mitochondrial DAMPs cause inflammatory responses to injury. *Nature* 2010;464:104-7. doi:10.1038/nature08780.
- [26] Wenceslau CF, McCarthy CG, Szasz T, Spitler K, Goulopoulou S, Webb RC, et al. Mitochondrial damage-associated molecular patterns and vascular function. *Eur Heart J* 2014;35:1172-7. doi:10.1093/eurheartj/ehu047.
- [27] Wenceslau CF, McCarthy CG, Szasz T, Goulopoulou S, Webb RC. Mitochondrial N-formyl peptides induce cardiovascular collapse and sepsis-like syndrome. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2015;308:H768-777. doi:10.1152/ajpheart.00779.2014.
- [28] Krysko DV, Agostinis P, Krysko O, Garg AD, Bachert C, Lambrecht BN, et al. Emerging role of damage-associated molecular patterns derived from mitochondria in inflammation. *Trends Immunol* 2011;32:157-64. doi:10.1016/j.it.2011.01.005.
- [29] Zhang Q, Itagaki K, Hauser CJ. Mitochondrial DNA is released by shock and activates neutrophils via p38 map kinase. *Shock Augusta Ga* 2010;34:55-9. doi:10.1097/SHK.0b013e3181cd8c08.
- [30] Bogner V, Keil L, Kanz K-G, Kirchhoff C, Leidel BA, Mutschler W, et al. Very early posttraumatic serum alterations are significantly associated to initial massive RBC substitution, injury severity, multiple organ failure and adverse clinical outcome in multiple injured patients. *Eur J Med Res* 2009;14:284-91.
- [31] Faist E, Baue AE, Dittmer H, Heberer G. Multiple organ failure in polytrauma patients. *J Trauma* 1983;23:775-87.

- [32] Tschoeke SK, Hellmuth M, Hostmann A, Ertel W, Oberholzer A. The early second hit in trauma management augments the proinflammatory immune response to multiple injuries. *J Trauma* 2007;62:1396–403; discussion 1403-1404. doi:10.1097/TA.0b013e318047b7f0.
- [33] Norris BL, Patton WC, Rudd JN, Schmitt CM, Kline JA. Pulmonary dysfunction in patients with femoral shaft fracture treated with intramedullary nailing. *J Bone Joint Surg Am* 2001;83-A:1162–8.
- [34] Weninger P, Figl M, Spitaler R, Mauritz W, Hertz H. Early unreamed intramedullary nailing of femoral fractures is safe in patients with severe thoracic trauma. *J Trauma* 2007;62:692–6. doi:10.1097/01.ta.0000243203.38466.e0.
- [35] Pape H-C, Marcucio R, Humphrey C, Colnot C, Knobe M, Harvey EJ. Trauma-induced inflammation and fracture healing. *J Orthop Trauma* 2010;24:522–5. doi:10.1097/BOT.0b013e3181ed1361.
- [36] Lasanianos NG, Kanakaris NK, Giannoudis PV. Intramedullary nailing as a “second hit” phenomenon in experimental research: lessons learned and future directions. *Clin Orthop* 2010;468:2514–29. doi:10.1007/s11999-009-1191-1.
- [37] Giannoudis PV, van Griensven M, Hildebrand F, Krettek C, Pape H-C. Femoral nailing-related coagulopathy determined by first-hit magnitude: an animal study. *Clin Orthop* 2008;466:473–80. doi:10.1007/s11999-007-0066-6.
- [38] Hildebrand F, Giannoudis P, van Griensven M, Chawda M, Probst C, Harms O, et al. Secondary effects of femoral instrumentation on pulmonary physiology in a standardised sheep model: what is the effect of lung contusion and reaming? *Injury* 2005;36:544–55. doi:10.1016/j.injury.2004.10.017.
- [39] Scalea TM, Boswell SA, Scott JD, Mitchell KA, Kramer ME, Pollak AN. External fixation as a bridge to intramedullary nailing for patients with multiple injuries and with femur fractures: damage control orthopedics. *J Trauma* 2000;48:613–21; discussion 621-623.
- [40] Tuttle MS, Smith WR, Williams AE, Agudelo JF, Hartshorn CJ, Moore EE, et al. Safety and efficacy of damage control external fixation versus early definitive stabilization for femoral shaft fractures in the multiple-injured patient. *J Trauma* 2009;67:602–5. doi:10.1097/TA.0b013e3181aa21c0.
- [41] O’Toole RV, O’Brien M, Scalea TM, Habashi N, Pollak AN, Turen CH. Resuscitation before stabilization of femoral fractures limits acute respiratory distress syndrome in patients with multiple traumatic injuries despite low use of damage control orthopedics. *J Trauma* 2009;67:1013–21. doi:10.1097/TA.0b013e3181b890be.
- [42] Maury C, Canovas F, Bonfils J, Dagneau L, Capdevila X, Charbit J. Influence of a temporary stabilization device on respiratory status in patients with severe trauma with a femoral shaft fracture treated by damage control strategy. *JBS* 2018; Under review.
- [43] Pape H-C, Hildebrand F, Pertschy S, Zelle B, Garapati R, Grimme K, et al. Changes in the management of femoral shaft fractures in polytrauma patients: from early total care to damage control orthopedic surgery. *J Trauma* 2002;53:452–61; discussion 461-462. doi:10.1097/01.TA.0000025660.37314.0F.
- [44] Pape H-C, Giannoudis PV, Krettek C, Trentz O. Timing of fixation of major fractures in blunt polytrauma: role of conventional indicators in clinical decision making. *J Orthop Trauma* 2005;19:551–62.
- [45] Stübig T, Mommsen P, Krettek C, Probst C, Frink M, Zeckey C, et al. [Comparison of early total care (ETC) and damage control orthopedics (DCO) in the treatment of multiple trauma with femoral shaft fractures: benefit and costs]. *Unfallchirurg* 2010;113:923–30. doi:10.1007/s00113-010-1887-4.

- [46] Daurat A, Millet I, Roustan J-P, Maury C, Taourel P, Jaber S, et al. Thoracic Trauma Severity score on admission allows to determine the risk of delayed ARDS in trauma patients with pulmonary contusion. *Injury* 2016;47:147–53. doi:10.1016/j.injury.2015.08.031.
- [47] Pape H-C. *Damage-Control Orthopaedic Surgery in Polytrauma: Influence on the Clinical Course and Its Pathogenetic Background*. Eur. Instr. Lect., Springer, Berlin, Heidelberg; 2009, p. 67–74. doi:10.1007/978-3-642-00966-2_8.
- [48] Morshed S, Miclau T, Bembom O, Cohen M, Knudson MM, Colford JM. Delayed internal fixation of femoral shaft fracture reduces mortality among patients with multisystem trauma. *J Bone Joint Surg Am* 2009;91:3–13. doi:10.2106/JBJS.H.00338.
- [49] Pape H, Stalp M, v Griensven M, Weinberg A, Dahlweit M, Tscherne H. [Optimal timing for secondary surgery in polytrauma patients: an evaluation of 4,314 serious-injury cases]. *Chir Z Alle Geb Oper Medizen* 1999;70:1287–93.
- [50] Nicholas B, Toth L, van Wessel K, Evans J, Enninghorst N, Balogh ZJ. Borderline femur fracture patients: early total care or damage control orthopaedics? *ANZ J Surg* 2011;81:148–53. doi:10.1111/j.1445-2197.2010.05582.x.
- [51] Stahel PF, Heyde CE, Wyrwich W, Ertel W. [Current concepts of polytrauma management: from ATLS to “damage control”]. *Orthopade* 2005;34:823–36. doi:10.1007/s00132-005-0842-5.
- [52] Flierl MA, Stoneback JW, Beauchamp KM, Hak DJ, Morgan SJ, Smith WR, et al. Femur shaft fracture fixation in head-injured patients: when is the right time? *J Orthop Trauma* 2010;24:107–14. doi:10.1097/BOT.0b013e3181b6bdfc.
- [53] Staub NC. Pulmonary edema. *Physiol Rev* 1974;54:678–811. doi:10.1152/physrev.1974.54.3.678.
- [54] Harwood PJ, Giannoudis PV, Probst C, Krettek C, Pape H-C. The risk of local infective complications after damage control procedures for femoral shaft fracture. *J Orthop Trauma* 2006;20:181–9.
- [55] Tosounidis TH, Sheikh HQ, Kanakaris NK, Giannoudis PV. The use of external fixators in the definitive stabilisation of the pelvis in polytrauma patients: Safety, efficacy and clinical outcomes. *Injury* 2017;48:1139–46. doi:10.1016/j.injury.2017.03.033.
- [56] McDonald SJ, Sun M, Agoston DV, Shultz SR. The effect of concomitant peripheral injury on traumatic brain injury pathobiology and outcome. *J Neuroinflammation* 2016;13. doi:10.1186/s12974-016-0555-1.

Tableau 1 : Classification des patients traumatisés sévères selon Pape et al [43].

	Paramètres	Stable	Borderline	Instable	Critique
Signe de Choc	PAS (mmHg)	≥100	80–100	60–90	<50–60
	CGR (<2h)	0–2	2–8	5–15	>15
	Lactatémie	Normal	≈ 2.5	>2.5	Acidose sévère
	Déficit en base (mmol/L)	Normal	Pas de données	Pas de données	>6-18
	ATLS classification	I	II-III	III-IV	IV
	Débit urinaire (ml/h)	>150	50–150	<100	<50
Coagulation	Plaquettes (µg/mL)	>110000	90000–110000	<70000–90000	<70000
	Facteur II et V (%)	90–100	70–80	50–70	<50
	Fibrinogène (g/dL)	>1	≈ 1	<1	CIVD
	D-Dimer	Normal	Anormal	Anormal	CIVD
Température		>35°C	33–35°C	30–32°C	<30°C
Lésion organes	PaO2/FiO2	>350	300	200–300	<200
	AIS Thorax	AIS I or II	AIS ≥ 2	AIS ≥ 2	AIS ≥ 3
	TTS score	O	I-II	II-III	IV
	Lésion abdominale (Moore et al)	≤II	≤III	III	≥III
	Lésion pelvienne (selon OTA)	A	B or C	C	C avec traumatisme abdominal
	AIS périphérique	AISI or II	AIS II-III	AIS III-IV	Syndrome des loges

AIS : Abbreviated injury scale, ATLS classification : Advanced trauma life support, PAS : pression artérielle systolique, TTS score : Thoracic trauma severity score.

Tableau 2 : Critères diagnostiques des patients borderline selon Pape et al.

Critères d'évaluation pour les patients Borderline

Patients Polytraumatisés avec ISS > 20 et AIS Thorax \geq 2

Patients polytraumatisés avec lésion abdominale et/ou pelvienne avec choc hémorragique associé

Patients Polytraumatisés avec ISS \geq 40 en l'absence de lésion thoracique associée

Contusions pulmonaires bilatérales

Pression initiale dans l'artère pulmonaire \geq 24 mmHg

Augmentation de la pression de l'artère pulmonaire > 6 mmHg durant l'enclouage centromédullaire

AIS : Abbreviated injury scale, ISS : Injury severity Score.